

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»  
в г. Апатиты

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.Б.19 Теплотехника**

(название дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

**основной профессиональной образовательной программы  
по специальности**

**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства  
Специализация № 1 Физические процессы горного производства**

(код и наименование направления подготовки  
с указанием направленности (профиля) (наименования магистерской программы))

**высшее образование – специалитет**

уровень профессионального образования: высшее образование – бакалавриат / высшее образование –  
специалитет, магистратура / высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

**горный инженер (специалист)**

квалификация

**очная**

форма обучения

**2019**

год набора

**Составитель:**

Бекетова Е.Б., к.т.н., доцент кафедры  
горного дела, наук о Земле и  
природообустройства

Утверждено на заседании кафедры горного  
дела, наук о Земле и природообустройства  
(протокол № 9 от «30» мая 2018 г.)

Зав. кафедрой

Терещенко С.В.

## **1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Целью изучения дисциплины «Теплотехника» является формирование у студентов необходимого уровня знаний в области физической сущности термодинамических процессов горного производства, позволяющих обеспечить творческий подход к решению проблем горного производства при одновременном повышении безопасности и комфортности труда и уменьшении отрицательного воздействия горных работ на окружающую среду.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### **Знать:**

- физическую сущность процессов, происходящих в горных породах и породных массивах при тепловом воздействии на них с различной степенью интенсивности;
- характер влияния тепловых свойств разрабатываемых горных пород, горно-геологических условий их залегания и состояния окружающего породного массива на параметры термодинамических процессов горного производства;
- современные тенденции и перспективные пути развития термодинамических процессов в горной промышленности с учётом максимального использования современных достижений фундаментальных и прикладных дисциплин из разных областей науки и техники;
- современные технические средства реализации термодинамических процессов горного производства при добыче и переработке полезных ископаемых, обеспечении безопасных и комфортных условий труда при ведении горных работ, повышении их экологической безопасности.

### **Уметь:**

- уметь применять законы термодинамики и теплопередачи при изучении смежных дисциплин и в последующей профессиональной деятельности;
- оценивать эффективность и принимать оптимальные решения при руководстве технологическими процессами горного производства в конкретных горно-геологических условиях ведения горных работ.
- выбирать наиболее эффективные технику и технологию ведения горных работ;
- проектировать и руководить работами по регулированию теплового режима шахт, замораживанию пород при строительстве подземных сооружений, термическому бурению и расширению скважин, оттаиванию горных пород, сушке руд и концентратов и другими технологическими процессами горного производства, связанными с тепловым воздействием.

### **Владеть:**

- методами расчета основных параметров тепловых процессов;
- уровнем знаний, который обеспечит не только принятие грамотных технических решений в области термодинамических процессов горного производства, но и будет достаточным для изучения в дальнейшем соответствующих профильных дисциплин, а также самостоятельного повышения квалификации в будущем.

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

- готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).

### 3. УКАЗАНИЕ МЕСТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Данная дисциплина относится к базовой части образовательной программы по специальности 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства, специализация №1 «Физические процессы горного производства».

Для освоения данной дисциплины обучающиеся используют знания, умения, навыки, которые они получили в процессе изучения дисциплин: «Математика», «Физика», «Химия», «Электротехника».

В свою очередь, дисциплина «Теплотехника» представляет собой методологическую базу для изучения дисциплин: «Термодинамические процессы горного производства», «Газодинамические процессы горного производства» и др.

### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы или 144 часа.  
(из расчета 1 ЗЕТ= 36 часов)

Курс	Семестр	Трудоемкость в ЗЕТ	Общая трудоемкость (час)	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивных формах	Кол-во часов на СРС	Курсовые работы	Кол-во часов на контроль	Форма контроля
				ЛК	ПР	ЛБ						
4	7	4	144	44	8	8	60	7	48	-	36	экзамен
<b>Итого:</b>		<b>4</b>	<b>144</b>	44	8	8	<b>60</b>	7	<b>48</b>	-	<b>36</b>	<b>экзамен</b>

В интерактивной форме часы используются в виде устного опроса, заслушивания и обсуждения подготовленных студентами практических (решение задач) работ по тематике дисциплины.

### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивной форме	Кол-во часов на СРС	Кол-во часов на контроль
		ЛК	ПР	ЛБ				
1	Предмет и методы теплотехники	2	-	-	2		1	
2	Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики.	4	2	2	8	1	4	
3	Второе начало термодинамики.	2	-	-	4		3	
4	Термодинамические процессы	4	-	-	4		2	
5	Термодинамика потока	2	-	-	2		2	

6	Термодинамические процессы горного производства	8	-	-	8		4	
7	Реальные газы. Водяной пар. Влажный воздух	4	2	2	8	2	4	
8	Теплопроводность.	8	2	-	10	2	12	
9	Конвективный теплообмен	4	2	2	6	2	8	
10	Тепловое излучение	2	-	-	2		4	
11	Теплопередача	4	-	2	6		4	
	<b>Экзамен</b>							36
	<b>Итого:</b>	44	8	8	<b>60</b>	7	<b>48</b>	<b>36</b>

### Содержание разделов дисциплины

*Тема № 1. Предмет и методы теплотехники.* Введение. Термодинамическая система. Параметры состояния. Уравнение состояния и термодинамический процесс.

*Тема № 2. Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики.* Теплота и работа. Внутренняя энергия. Первый закон термодинамики. Теплоемкость газа. Универсальное уравнение состояния идеального газа. Смесь идеальных газов.

*Тема № 3. Второе начало термодинамики.* Основные положения второго закона термодинамики. Энтропия. PV и TS диаграммы. Цикл и теоремы Карно.

*Тема №4. Термодинамические процессы.* Метод исследования термодинамических процессов. Изопроцессы идеального газа. Политропный процесс.

*Тема №5. Термодинамика потока.* Первый закон термодинамики для потока. Критическое давление и скорость. Сопло Лаваля. Дросселирование.

*Тема №6. Термодинамические процессы горного производства.* Стационарные и нестационарные процессы теплообмена и распространения тепла в горных породах. Добыча и использование тепла земных недр. Тепловой режим подземных горных работ. Промерзание рыхлых и связных пород на открытых горных работах. Замораживание грунтов при строительстве подземных сооружений. Тепловые и термохимические процессы при геотехнологических методах добычи полезных ископаемых. Термические методы разрушения горных пород. Процессы сушки горных пород при их добыче и переработке. Термодинамические процессы при обогащении полезных ископаемых.

*Тема 7. Реальные газы. Водяной пар. Влажный воздух.* Термодинамические процессы в реальных газах и парах. Свойства реальных газов. Пары. Основные определения. Процессы парообразования в PV и TS координатах. Водяной пар. Термодинамические таблицы воды и водяного пара, PV, TS, HS-диаграммы водяного пара. Расчет термодинамических процессов водяного пара с помощью таблиц и HS-диаграммы. Влажный воздух. Определение понятия "влажный воздух". Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха. Hd-диаграмма влажного воздуха. Расчет основных процессов влажного воздуха подогрев, сушка, смеси воздуха и различных паров.

Понятия о водяном паре. Характеристика влажного воздуха.

*Тема №8. Теплопроводность.* Температурное поле. Уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку. Стационарная теплопроводность через шаровую стенку.

*Тема №9. Конвективный теплообмен.* Факторы, влияющие на конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Краткие сведения из теории подобия. Расчетные формулы конвективного теплообмена.

*Тема №10. Тепловое излучение.* Общие сведения о тепловом излучении. Основные законы теплового излучения.

*Тема №11. Теплопередача.* Теплопередача через плоскую стенку. Теплопередача через цилиндрическую стенку. Типы теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов. Тестовый контроль по разделу

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

### **Основная литература:**

1. Ляшков В. И. Теоретические основы теплотехники: Учеб. пособие. 2-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2008. - 318 с.
2. Архаров А.М. Теплотехника. Учебник/ А.М. Архаров и др. - м.: МГТУ им. Баумана, 2004. - 712 с.

### **Дополнительная литература:**

3. Теплотехника: учебник/ под ред М.Г. Шатрова. - М.: Академия, 2012. - 286 с.
4. Апальков А.Ф. Теплотехника: учебное пособие. - Ростов/нДону: Феникс, 2008
5. Прибытков И.А. Теоретические основы теплотехники: учебник. - М.: Академия, 2006
6. Гончаров С.А. Термодинамика. Учебник. - М.: МГТУ, 2002. - 440 с.

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В образовательном процессе используются:

– учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), комплект мультимедийного оборудования, включающий мультимедиапроектор, экран, переносной ноутбук для демонстрации презентаций; учебно-наглядные пособия; обеспечивающие тематические иллюстрации);

– помещения для самостоятельной работы (оснащены компьютерными столами, стульями, доской аудиторной, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета);

– помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (оснащены наборами инструментов, оборудованием, расходными материалами для монтажа, ремонта и обслуживания информационно-телекоммуникационной сети филиала и вычислительной техники);

– лаборатория гравитации (оснащена: стол концентрационный СКО-0,5Л, машина отсадочная диафрагмовая МОД-0,2, коврик резиновый большой-4 шт., коврик резиновый малый, мельница шаровая лабораторная, ведро оцинкованное, комплект размольных шаров, столик лабораторный.

### **7.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

1. Microsoft Windows.
2. Microsoft Office / LibreOffice.

### **7.2 ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ:**

1. ЭБС «Издательство Лань» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Издательство Лань». - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>;
2. ЭБС «Электронная библиотечная система ЮРАЙТ» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». - Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>;
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [Электронный ресурс]: электронно-периодическое издание; программный комплекс для организации онлайн-доступа к лицензионным материалам / ООО «НексМедиа». – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/>.

### **7.3 СОВРЕМЕННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ:**

1. Электронная база данных Scopus;
2. «Университетская библиотека online» – электронная библиотечная система –

<http://biblioclub.ru/>

3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" – <http://window.edu.ru/>;

4. Информационный портал "Студенту вуза" – <http://studentu-vuza.ru/>;

#### **7.4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс <http://www.consultant.ru/>.

#### **8. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ**

Не предусмотрено.

#### **9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ**

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины может осуществляться в адаптированном виде, с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.

**Приложение 1 к РПД «Теплотехника»**  
**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства**  
**Специализация №1 «Физические процессы горного производства»**  
**Форма обучения – очная**  
**Год набора - 2019**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства
3.	Специализация	№6 «Обогащение полезных ископаемых»
4.	Дисциплина (модуль)	№1 «Физические процессы горного производства»
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2019

### **1. Методические рекомендации**

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, решения задач и выполнение практических работ.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы обучающихся являются лекции и практические и лабораторные работы.

#### **1.1. Методические рекомендации по организации работы студентов во время проведения лекционных занятий**

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

В учебном процессе, помимо чтения лекций, используются интерактивные формы (устный опрос, тестирование, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры. Студентам необходимо:

- перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины, что позволит сэкономить время на записывание темы лекции, ее основных вопросов, рекомендуемой литературы;
- на отдельные лекции приносить соответствующий материал на бумажных носителях, представленный лектором на портале или присланный на «электронный почтовый ящик» (таблицы, графики, схемы). Данный материал будет охарактеризован, прокомментирован, дополнен непосредственно на лекции;
- перед очередной лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к

основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к преподавателю. Не оставляйте «белых пятен» в освоении материала.

### **1.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим (решение задач) и лабораторным занятиям**

Лабораторные работы служат для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях. При выполнении лабораторной работы студенты имеют возможность применить теоретические знания к решению практических задач, убедиться на практике в правильности полученных теоретических результатов.

Студентам следует:

- приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;
- до очередного практического (лабораторного) занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы;
- при подготовке к практическим (лабораторным) занятиям следует обязательно использовать не только лекции, учебную литературу, но и материалы правоприменительной практики;
- в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;
- в ходе выполнения практической (лабораторной) работы давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;
- на занятии доводить каждое задание до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин) или не подготовившимся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по выполнению заданий.

В случае если сроки сдачи работ превышены, количество баллов сокращается.

Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу зачетной сессии, упускают возможность получить положенные баллы за работу в соответствующем семестре.

### **1.3. Методические рекомендации по подготовке к устному опросу**

Устный опрос – наиболее распространенный метод контроля знаний студентов. При устном контроле устанавливается непосредственный контакт между преподавателем и студентом, в процессе которого преподаватель получает широкие возможности для изучения индивидуальных особенностей усвоения студентами учебного материала.

Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, устный опрос имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно ответить на поставленный вопрос. Можно дать следующие методические рекомендации:

- студент должен изучить лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов;
- обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины;
- выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

Тема и вопросы устного опроса доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой.

В среднем, подготовка к устному опросу занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы.



#### 1.4. Методические рекомендации для занятий в интерактивной форме

В учебном процессе, помимо чтения лекций и аудиторных занятий, используются интерактивные формы (в целях выработки навыков применения теории при анализе реальных проблем, обсуждение отдельных разделов дисциплины, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Интерактивное обучение представляет собой способ познания, осуществляемый в формах совместной деятельности обучающихся, т.е. все участники образовательного процесса взаимодействуют друг с другом, совместно решают поставленные проблемы, задачи, обмениваются информацией, оценивают действие коллег и свое собственное поведение, погружаются в реальную атмосферу делового сотрудничества по разрешению проблем.

В курсе изучаемой дисциплины «Теплотехника» в интерактивной форме часы используются в виде: устного опроса, заслушивания и обсуждения подготовленных студентами практических (решение задач) работ по тематике дисциплины.

Тематика занятий с использованием интерактивных форм

№ п/п	Тема	Интерактивная форма	Часы, отводимые на интерактивные формы	
			лекции	Практические занятия
1	Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики.	Устный опрос. Решение задач		1
2	Реальные газы. Водяной пар. Влажный воздух	Устный опрос. Решение задач		2
3	Теплопроводность.	Устный опрос. Решение задач		2
4	Конвективный теплообмен	Устный опрос. Решение задач		2
ИТОГО:			7 часов	

#### 1.5. Методические рекомендации по подготовке к экспресс-опросу по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям

Для осуществления контроля над подготовкой самостоятельной работы студентов, преподаватель проводит экспресс-опрос в группе. Экспресс-опрос проводится в устной или письменной форме.

Устный экспресс – опрос должен охватывать всех присутствующих на занятии студентов. Вопросы задаются преподавателем по теме самостоятельно изученной литературе. Письменный опрос заключается в ответе в письменной форме на непосредственно задаваемые вопросы преподавателя.

Экспресс-опрос, в зависимости от вариантов его применения может служить для проверки степени, глубины усвоения студентами конкретных тем самостоятельно изучаемого курса (проведение экспресс-опросов на занятии).

Преподаватель использует различные варианты экспресс-опросов: постановка вопросов, количество которых зависит от объема теоретического материала по данной теме. Вопросы должны отражать узловые аспекты данной темы. Преподаватель постепенно (по мере готовности) собирает ответы у студентов, анализирует и определяет те вопросы, которые получили наименьшее количество правильных ответов. Называет эти вопросы, привлекая к ним внимание всех, и предлагает их прокомментировать (дать более правильный ответ), тем студентам, которые на них ответили правильно. Преподаватель, расставляя акценты, подводит итог обсуждению темы.

Либо преподаватель собирает ответы на поставленные вопросы и анализирует их в конце занятия. Обобщает полученные результаты, выделяет группу студентов, которые дали неправильные ответы, и проводит с ними индивидуальную работу (индивидуальные консультации).

### **1.6. Методические рекомендации по подготовке опорного конспекта**

Студентам необходимо ознакомиться: с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимися на образовательном портале и сайте кафедры.

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры. Студентам необходимо иметь полный конспект лекций, прочитанных в аудиторные часы и тем, теоретического материала, освоивших обучающимися самостоятельно.

При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к преподавателю на практических занятиях. Не оставляйте «белых пятен» в освоении материала.

Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме, упускают возможность получить положенные баллы за работу в соответствующем семестре.

### **1.7. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзамена**

Преподаватель может принимать экзамен только в том случае, если студент допущен к экзамену. Ведомость преподавателю передает специалист кафедры.

На экзамене обучающийся должен представить зачетную книжку. Если обучающийся не имеет при себе зачетной книжки, экзаменатор не имеет права принимать экзамен.

В экзаменационной ведомости и зачетной книжке экзаменатор должен записать результат экзамена и поставить свою подпись.

Обучающемуся, сдающему экзамен, должно быть дано время, достаточное для тщательной подготовки ответа. Как правило, для подготовки ответов на зачете студент должен иметь не менее 30 минут, но не более часа.

При подготовке ответов на экзамене студент имеет право пользоваться программой по данному предмету.

Во время сдачи экзамена студент не имеет права пользоваться учебником, учебным пособием, конспектом, каким-либо источником.

Пользование «шпаргалками» должно повлечь за собой безусловное удаление студента с экзамена с выставлением оценки «неудовлетворительно» в экзаменационной ведомости.

Студенту должна быть предоставлена возможность полностью изложить свои ответы. Не рекомендуется прерывать студента, за исключением случаев, когда он отвечает не на тот вопрос, который ему задан, или когда он сразу же допускает грубую ошибку. Преподаватель может также прервать студента, если сказанного им достаточно, чтобы вполне положительно оценить его знания.

Не следует часто поправлять отвечающего, учитывая, что некоторые студенты утрачивают уверенность от замечаний преподавателя, которые он делает по ходу экзамена, что сказывается на качестве их ответов.

Экзаменатор задает дополнительные вопросы после того, как студент закончит ответ по данному вопросу, или по окончании ответов на все вопросы билета. Дополнительные вопросы должны быть поставлены четко и ясно. При выставлении оценок экзаменатор принимает во внимание не столько знание материала, часто являющееся результатом механического запоминания прочитанного, сколько умение ориентироваться в нем, логически рассуждать, а равно применять полученные знания к практическим вопросам.

Важно также учесть форму изложения.

Попытки отдельных студентов выпрашивать повышение оценок следует корректно, но решительно пресекать.

Качество учебной работы обучающихся преподаватель оценивает с использованием критериев и шкалы оценивания (см. Приложение 2).

Шкала оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ по итогам выполнения всех заданий: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.

### **1.8. Методические рекомендации по выполнению курсовых работ.**

Выполнение курсовой работы учебным планом не предусмотрено.

## **2. Планы практических занятий**

### **Занятие 1. Основы теплотехники (2 часа)**

#### **План:**

1. Решение задач с применением первого закона термодинамики

*Литература:* [4, с. 8-15].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Параметры состояния рабочего тела. Связь между ними. Размерность.
2. Давление. Способы измерения. Единицы измерения. Абсолютное давление.
3. Термодинамическая температура. Что понимается под абсолютным нулем? Связь между температурной шкалой Кельвина и Цельсия.
4. Уравнение состояния для 1 кг и произвольной массы газа. Размерность и характеристика величин, входящих в уравнение.
5. Удельная и универсальные газовые постоянные. Связь между ними.
6. Внутренняя энергия как функция состояния рабочего тела.
7. Определение первого закона термодинамики. Математическое выражение первого закона термодинамики.
8. Дайте определение теплоты.
9. Единицы измерения теплоты.
10. Принцип эквивалентности и работы.

#### *Задание для самостоятельной работы*

1. Выразить численное значение универсальной газовой постоянной при нормальных физических условиях из уравнения.

### **Занятие 2. Свойства воды и водяного пара. Процессы водяного пара. (2 часа)**

#### **План:**

1. Определение температуры, удельного объема, плотности, энтропии, энтальпии сухого насыщенного водяного пара.
2. Определение фазового состояния воды и ее параметров.
3. Определение состояния влажного воздуха, температуры точки росы, абсолютной влажности воздуха, относительной влажности воздуха, парциального давления водяных паров во влажном воздухе, влагосодержания и энтальпия влажного воздуха.

*Литература:* [2, с. 63-77].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что называется кипением, парообразованием и испарением?
2. Какие процессы называются сублимацией и десублимацией?
3. Какой пар называется влажным насыщенным, сухим насыщенным перегретым?
4. Что такое степень сухости и степень влажности?
5. Какие точки располагаются на пограничных кривых жидкости и пара?

6. Что относится к параметрам критической точки?
7.  $T, s$ -диаграмма водяного пара.
8.  $i, s$ -диаграмма водяного пара
9. Что входит в состав влажного воздуха?
10. Что называется абсолютной и относительной влажностью воздуха?
11. Что означает влагосодержание воздуха и как оно вычисляется?
12. Что называется температурой точки росы и температурой мокрого термометра?
13. Дросселирование водяного пара.
14. Что означает энтальпия влажного воздуха и как она определяется аналитически?

*Задание для самостоятельной работы*

1. Изобразить  $p, v$ -диаграмму водяного пара.
2. Определить КПД котельного агрегата, часовой расход удельного топлива и его видимую испарительную способность, если известно давление пара  $P$ , температура пара  $t$ , теплота сгорания топлива  $Q_p''$ , часовой расход топлива  $B$  и температура питательной воды  $t_{п.в.}$ .

### **Занятие 3. Теплопроводность (2 часа)**

**План:**

1. Решение задач на темы: «Теплопроводность через плоскую однослойную стенку», «Распространение теплоты теплопроводностью в многослойной стенке», «Теплопроводность через цилиндрическую стенку»

*Литература:* [4, с. 106-117].

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое теплопроводность? Назовите единицы измерения коэффициента теплопроводности.
2. Какие материалы обладают хорошей теплопроводностью?
3. От чего зависит теплопроводность?
4. Чем отличается теплопроводность однослойных стенок от многослойных ?
5. Особенности теплопроводности через цилиндрическую стенку.

*Задание для самостоятельной работы*

1. Построить схему отвода теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки.

### **Занятие 4. Конвекция. Сложный теплообмен (2 часа)**

**План:**

1. Решение задач на нахождение конвективного теплового потока, теплопередачи через сложную термодинамическую систему.

*Литература:* [4, с. 117-136].

*Вопросы для самоконтроля*

1. Дайте определение абсолютно черному телу.
2. Охарактеризуйте коэффициенты, характеризующие пропускательную, поглощательную и отражательную способность тел.
3. Что устанавливает закон Кирхгофа?
4. Что такое теплопередача?
5. Теплопередача через плоские стенки. Термические сопротивления.
6. Теплопередача через ребристые поверхности.
7. Назначение тепловой изоляции. Виды тепловой изоляции.
8. Критический диаметр изоляции.
9. Интенсификация теплопередачи.
10. Теплопередача через цилиндрические стенки.

*Задание для самостоятельной работы*

1. Построить тепловые цепи для сложного теплообмена

**3. Примерные темы лабораторных работ**

№ п/п	Лабораторная работа	Номер темы	Кол-во часов
1.	Методика расчета произвольного цикла газовой смеси	2	2
2.	Расчет фазовых переходов	7	2
3.	Определение коэффициента теплоотдачи в конвективном теплообмене	9	2
4.	Расчет процессов теплопередачи через плоские и цилиндрические стенки	11	2
	Итого		8

**Приложение 2 к РПД «Теплотехника»**  
**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства**  
**Специализация №1 «Физические процессы горного производства»**  
**Форма обучения – очная**  
**Год набора - 2019**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства
3.	Специализация	№6 «Обогащение полезных ископаемых»
4.	Дисциплина (модуль)	№1 «Физические процессы горного производства»
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2019

**2. Перечень компетенций**

—готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).
--

### 3. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
1. Предмет и методы теплотехники	ОПК-4	Основные свойства и параметры состояния термодинамических систем	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
2. Основные законы термодинамики. Первое начало термодинамики.	ОПК-4	Законы термодинамики и их математическое описание	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	
3. Второе начало термодинамики.	ОПК-4	Законы термодинамики и их математическое описание	Рассчитывать термодинамические процессы и циклы, оценивать их эффективность	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям.
4. Термодинамические процессы	ОПК-4	Термодинамические процессы и основы их анализа	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
5. Термодинамика потока	ОПК-4	Термодинамику потока	Определять основные свойства рабочих тел, применяемых в отрасли	Навыками расчета и анализа эффективности термодинамических процессов горного производства	
6. Термодинамические процессы горного производства	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты; рассчитывать показатели, параметры теплообмена; проводить теплотехнические измерения, обрабатывать	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	

			результаты измерений с применением компьютерной техники		
7. Реальные газы. Водяной пар. Влажный воздух	ОПК-4	Основные способы теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	Выбирать рациональные системы теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	Навыками выбора рациональных систем теплоснабжения, охлаждения и термостатирования оборудования	
8. Теплопроводность	ОПК-4	Основные закономерности теплообмена и массообмена при стационарном и нестационарном режимах	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Устный опрос. Решение задач
9. Конвективный теплообмен	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Устный опрос. Решение задач Выполнение и защита лабораторной работы
10. Тепловое излучение	ОПК-4	Принцип действия и устройства теплообменных аппаратов и другого теплотехнического оборудования, применяемого в отрасли	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям
11. Теплопередача	ОПК-4	Способы управления параметрами теплопередачи	Рассчитывать и анализировать тепловые процессы, теплообменные аппараты	Методами управления интенсивностью теплообменных процессов горного производства; навыками проведения теплотехнических измерений	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям. Выполнение и защита лабораторной работы



## 4. Критерии и шкалы оценивания

### 4.1. Устный опрос

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	1	2	3

### 4.2. Решение задач

4 балла – студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

3 балла – студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла – студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балл – студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

### 4.3. Выполнение и защита лабораторной работы

Структура лабораторной работы	Максимальное количество баллов
Содержание	
Выполнение работы в отчете изложено полно, четко и правильно	2
Иллюстрации усиливают эффект восприятия текстовой части информации	1
Сделаны выводы	2
Максимальное количество баллов	5

### 4.4. Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	2	3	4

## 5. Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 5.1. Типовые вопросы к устному опросу

#### 1. Предмет технической термодинамики и ее задачи

**Ответ:** **Техническая термодинамика** – раздел термодинамики, занимающийся приложениями законов термодинамики в теплотехнике. Техническая термодинамика занимается разработкой теории тепловых двигателей и установок таких, как двигатели внутреннего сгорания, паровые и газовые Турбины, реактивные и ракетные двигатели, холодильные и компрессорные машины. На ее основе формируются методы прямого преобразования теплоты в электрическую энергию, проводится анализ эффективности термодинамических циклов, процессов теплообмена, изучаются термодинамические свойства различных веществ, закономерности теплового движения и др.

#### 2. Два принципиально различных направления использования теплоты

*Ответ:* Различают два принципиально различных направления использования теплоты – энергетическое и технологическое.

При *энергетическом* использовании, теплота преобразуется в механическую работу, с помощью которой в генераторах создается электрическая энергия, удобная для передачи на расстояние. Теплоту при этом получают сжиганием топлива в котельных установках или непосредственно в двигателях внутреннего сгорания.

При *технологическом* – теплота используется для направленного изменения свойств различных тел (расплавления, затвердевания, изменения структуры, механических, физических, химических свойств).

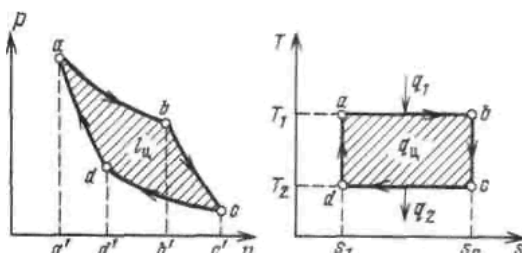
### 3. Неравновесный и равновесный процессы

*Ответ:* Процессы делятся на равновесные и неравновесные. Если при протекании процесса различные части системы имеют отличающиеся свойства, то система не находится в состоянии равновесия и процесс называется *неравновесным*. Действительные процессы, протекающие с конечными скоростями, всегда неравновесны.

Равновесным термодинамический процессом называется в том случае, если протекает настолько медленно, что в системе в каждый момент времени успевает установиться равновесное состояние.

### 4. Нарисовать диаграммы прямого обратимого цикла Карно в координатах « $v - p$ » и « $s - T$ »

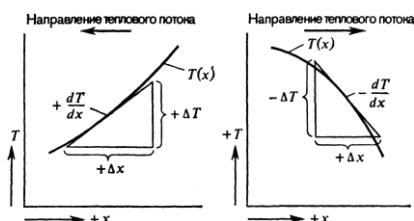
*Ответ:*



### 5. Теплопроводность (кондуктивный перенос тепла)

*Ответ:* Теплопроводность является единственным видом теплопередачи в непрозрачной твердой среде. Если в такой среде существует градиент температуры, тепло переносится из высокотемпературной области в низкотемпературную.

Скорость переноса тепла вследствие теплопроводности (кондуктивный тепловой поток  $q_k$ ) пропорциональна градиенту температуры  $dT/dx$  и площади поверхности  $A$ , через которую идет поток тепла (рис.)



Схема, иллюстрирующая правило знаков для теплопроводности

### 6. Привести простые примеры использования закона теплопроводности Фурье

*Ответ:* Простым примером использования закона Фурье является задача о теплопередаче через плоскую стенку (рис.)

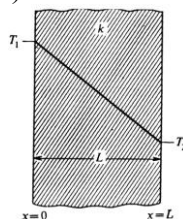
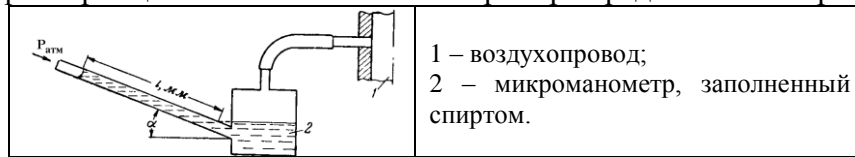


Рис. Теплопроводность через плоскую стенку с постоянным коэффициентом теплопроводности

Если обе поверхности стенки имеют постоянные, но различные температуры, тепло будет переноситься только в одном направлении, по нормали к поверхностям стенки. Если теплопроводности является постоянной величиной, после интегрирования формулы, выражающей закон Фурье, получаем

## 5.2. Типовые примеры задач

**Задача 1.** Для измерения малых избыточных давлений или разрежений применяются микроманометры. Принципиальная схема этого прибора представлена на рисунке.



Определить абсолютное давление в воздухопроводе, если длина  $l$  жидкости в трубке микроманометра, наклоненной под углом  $\alpha = 30^\circ$ , равна 180 мм. Рабочая жидкость – спирт плотностью  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ . Показание барометра, приведенного к  $0^\circ \text{C}$ ,  $P_{\text{атм}} = 1.02 \text{ бар}$ .

Решение:

Дано:

$$l = 180 \text{ мм} = 0,18 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{\text{атм}} = 1,02 \text{ бар} =$$

$$= 1,05 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$P = ?$$

Абсолютное давление в воздухопроводе

$$P = P_{\text{атм}} + P_{\text{изб}},$$

$$\text{где } P_{\text{изб}} = \rho gh = \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha, \text{ тогда } P = P_{\text{атм}} + \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha = 1,02 + 800 \cdot 9,81 \cdot 0,18 \cdot \sin 30^\circ \cdot 10^{-5} = 1,027 \text{ бар}.$$

Ответ:  $P = 1.027 \text{ бар} = 102700 \text{ Па}$ .

**Задача 2.** Определить парциальные давления кислорода и азота в воздухе при нормальных условиях, если массовый состав воздуха  $m_{O_2} = 23.3\%$  и  $m_{N_2} = 76.7\%$ .

Решение:

Парциальное давление газа в смеси может быть найдено по формуле

$$p_i = r_i p_{\text{см}}. \quad (1)$$

Связь между массовыми и объемными долями устанавливается формулой

$$r_i = \frac{m_i \mu_{\text{см}}}{\mu_i}, \text{ где } \mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} \mu_i r_i.$$

$$\text{след. при } \mu_{\text{см}} = 32 \cdot 0.233 + 28 \cdot 0.767 = 28.932 \text{ кг/кмоль}$$

$$r_{O_2} = \frac{0.233 \cdot 28.932}{32} = 0.21.$$

$$\text{Т.к. } \sum r_i = 1, \quad r_{N_2} = 1 - 0.21 = 0.79.$$

$$\text{Давление смеси: } 750 \text{ мм рт. ст.} - 0.1 \text{ МПа}$$

$$760 \text{ мм рт. ст.} - x$$

$$\Rightarrow P_{\text{см}} = 101333 \text{ Па}.$$

$$\text{Тогда согласно (1) } P_{O_2} = 0.21 \cdot 101333 = 21279.93 \approx 21280 \text{ Па}.$$

$$\text{След., } P_{N_2} = 101333 - 21280 = 80053 \text{ Па}.$$

**Задача 3.** Плоская стенка состоит из трёх слоев толщиной  $L_1 = 100 \text{ мм}$ ,  $L_2 = 80 \text{ мм}$  и  $L_3 = 50 \text{ мм}$ , коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны  $k_1 = 2 \text{ Вт/(м·К)}$ ,  $k_2 = 8 \text{ Вт/(м·К)}$  и  $k_3 = 10 \text{ Вт/(м·К)}$ . Второй слой имеет температуры поверхностей  $T_{1-2} = 120^\circ \text{C}$  и  $T_{2-3} = 45^\circ \text{C}$ . Определить температуры наружных поверхностей.

Решение

Полное термическое сопротивление теплопроводности  $R_{\text{п}}$  трехслойной стенки равно сумме термических сопротивлений слоев:

$$R_1 = \frac{L_1}{k_1} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_2 = L_2 / k_2 = 0.08 / 8 = 0.01 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт} \cdot \text{м}},$$

$$R_3 = L_3 / k_3 = 0.05 / 10 = 0.005 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт} \cdot \text{м}},$$

$$R_{\text{п}} = R_1 + R_2 + R_3 = 0.05 + 0.01 + 0.005 = 0.065 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт} \cdot \text{м}}.$$

Поверхностная плотность теплового потока стационарного режима теплообмена постоянна для каждого из слоев и выражается через параметры любого слоя

$$q = \frac{T_1 - T_{1-2}}{R_1} = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_2} = \frac{T_{2-3} - T_2}{R_3},$$

$$q = \frac{T_{1-2} - T_{2-3}}{R_2} = \frac{120 - 45}{0.01} = 7500 \text{ Вт} / \text{м}^2.$$

Определяем температуры наружных поверхностей стенок:

$$T_1 = T_{1-2} + qR_1 = 120 + 7500 \cdot 0.05 = 495^\circ \text{C},$$

$$T_2 = T_{2-3} - qR_3 = 45 + 7500 \cdot 0.005 = 7.5^\circ \text{C}.$$

Величину плотности теплового потока  $q$  можно выразить также через суммарное термическое сопротивление стенки

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{п}}}.$$

Ответ:  $T_1 = 495^\circ \text{C}$ ,  $T_2 = 7.5^\circ \text{C}$ .

### 5.3. Пример лабораторной работы

#### Лабораторная работа по разделу «Общая теплотехника»

#### Методика расчета произвольного цикла газовой смеси

##### Задание

1. Произвести расчет газовой смеси.
2. Определить параметры газовой смеси ( $P, \nu, T, s$ ) в характерных точках цикла.
3. Определить изменение внутренней энергии, удельную работу и количество подведенной или отведенной теплоты в каждом процессе.
4. Определить термический коэффициент полезного действия (кпд) заданного цикла.
5. Определить термический КПД цикла Карно в температурных пределах заданного цикла и уменьшение термического КПД заданного цикла по сравнению с термическим КПД цикла Карно.
6. Построить заданный цикл в координатах " $P-\nu$ ", и " $T-s$ " в выбранном масштабе и определить промежуточные точки в процессах, где это необходимо.

##### Методика расчета

##### Расчет газовой смеси

Кажущаяся молярная масса газовой смеси определяется из уравнения

$$\mu_{\text{см}} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \mu_i \text{ [кг/моль]},$$

где  $r_i$  – объемная доля  $i$ -того газа;  $\mu_i$  – молярная масса  $i$ -того газа, кг/кмоль;  $n$  – число газов в смеси.

Удельная газовая постоянная смеси определяется через кажущуюся молярную массу:

$$B_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})].$$

Удельная теплоемкость при постоянном давлении для газовой смеси может быть определена по формулам:

$$c_p = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_{pi} [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})] \quad \text{или} \quad c_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_i c_{p\mu i}}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})],$$

где  $m_i$  – массовая доля  $i$ -того газа;  $c_{pi}$  – удельная теплоемкость  $i$ -того газа, Дж/(кг·К), при  $P = \text{const}$ ,  $c_{pi} = \frac{c_{\mu i}}{\mu_i}$ ;  $c_{p\mu i}$  – молярная теплоемкость  $i$ -того газа, Дж/(моль·К), при  $P = \text{const}$ .

Удельная теплоемкость при постоянном объеме равна

$$c_v = \sum_{i=1}^{i=n} m_i c_{vi} [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})] \quad \text{или} \quad c_v = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_i c_{v\mu i}}{\mu_{\text{см}}} [\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})],$$

где  $c_{v\mu i}$ ,  $c_{vi}$  – молярная и удельная теплоемкости при  $V = \text{const}$ .

Значения молярных теплоемкостей выбирают по таблице, не учитывая их зависимость от температуры.

Газы	$c_{v\mu}$ , Дж/(моль·К)	$c_{p\mu}$ , Дж/(моль·К)
Одноатомные	12.5	20.8
Двухатомные	20.8	29.1
Трех- и многоатомные	29.1	37.4

Проверка правильности вычисления удельных теплоемкостей проводится по уравнению Майера:

$$c_p - c_v = B, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Показатель адиабаты:  $k = c_p / c_v = C_p / C_v$ .

Удельный объем при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кг:  $v_n = 22.4 / \mu_{\text{см}}$  или  $v_n = \frac{B \cdot T_n}{P_n}$ ,

где  $P_n$  – абсолютное давление,  $P_n = 101325$  Па,  $T_n$  – абсолютная температура,  $T_n = 273$  К.

#### Параметры газовой смеси в характерных точках

а) *Параметры первой точки:*

— удельный объем, м<sup>3</sup>/кг,  $v_1 = \frac{B \cdot T_1}{P_1}$ , где  $T_1$  – абсолютная температура,  $T_1 = t_1 + 273$ , К;  $P_1$  – абсолютное давление, Па.

б) *Параметры второй точки определяются в зависимости от характера термодинамического процесса 1-2.*

При изотермическом процессе ( $n = 1$ ; $T = \text{const}$ ):	При адиабатном процессе ( $n = k$ ):	При политропном процессе:
1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1$ ; 3. Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon$ .	1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$ ; 3. Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k$ . При проверке параметров второй точки должно выполняться равенство $P_2 \cdot v_2 = B \cdot T_2$	1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$ ; 2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n-1}$ ; Абсолютное давление $P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^n$ .

в) *Параметры третьей точки определяются в зависимости от характера процесса*  
2-3.

<u>При изохорном процессе:</u>	<u>При изобарном процессе:</u>
1. Удельный объем $v_3 = v_2$ ;	1. Удельный объем $v_3 = v_2 \cdot \rho$ ;
2. Абсолютная $T_3 = T_2 \cdot \lambda$ ;	2. Абсолютная температура $T_3 = T_2 \cdot \rho$ ;
3. Абсолютное давление $P_3 = P_2 \cdot \lambda$ .	3. Абсолютное давление $P_3 = P_2$ .

г) *Параметры четвертой точки*

<u>Если процесс 4-1 изохорный, <math>v_4 = v_1</math>. Абсолютное давление и абсолютная температура определяются по следующим формулам:</u>	<u>Если процесс 4-1 изобарный, <math>P_4 = P_1</math>. Удельный объем и абсолютная температура определяются по следующим формулам:</u>
1. При адиабатном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1};$	1. При адиабатном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}};$
2. При политропном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{n-1};$	2. При политропном процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n, \quad \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{n-1}{n}};$
3. При изотермическом процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \frac{v_3}{v_4}, \quad T_4 = T_3.$	3. При изотермическом процессе 3-4: $\frac{P_4}{P_3} = \frac{v_3}{v_4}, \quad T_4 = T_3.$

Удельную энтропию в характерных точках цикла можно определить по формуле:

$$s_i = c_v \ln(T_i/T_n) + B \ln(v_i/v_n),$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К);  $T_i$  – абсолютная температура в начальной точке процесса, К;  $T_n$  – абсолютная температура при нормальных условиях,  $T_n = 273$  К;  $B$  – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К);  $v_i$  – удельный объем в начальной точке процесса, м<sup>3</sup>/кг;  $v_n$  – удельный объем, м<sup>3</sup>/кг, при  $P_n = 101325$  Па;  $T_n = 273$  К.

### **Изменение удельной внутренней энергии**

Для всех процессов, кроме изотермического, изменение удельной внутренней энергии можно определить по формуле:  $\Delta u = c_v (T_{i+1} - T_i)$ .

Для изотермического процесса:  $\Delta u = 0$ .

### **Удельная работа газовой смеси в процессе:**

1. Для изотермического процесса:  $l_{i-(i+1)} = P_i \cdot v_i \cdot 2.3 \lg(v_{i+1}/v_i)$ ;
2. Для адиабатного процесса:  $l_{i-(i+1)} = [1/(k-1)] \cdot P_i \cdot v_i \cdot [1 - (P_{i+1}/P_i)^{k-1/k}]$ ;
3. Для политропного процесса:  $l_{i-(i+1)} = [1/(n-1)] \cdot P_i \cdot v_i \cdot [1 - (P_{i+1}/P_i)^{n-1/n}]$ ;
4. Для изобарного процесса:  $l_{i-(i+1)} = P_i \cdot (v_{i+1} - v_i)$ ;
5. Для изохорного процесса:  $l_{i-(i+1)} = 0$ .

где  $P_i, P_{i+1}$  – абсолютное давление в начальной и конечной точках процесса, Па;  $v_i, v_{i+1}$  – удельные объемы в начальной и конечной точках процесса, м<sup>3</sup>/кг.

### **Удельное количество теплоты, подведенное или отведенное от газовой смеси:**

1. Для адиабатного процесса:  $q_{i-(i+1)} = 0$ ;
2. Для общего политропного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_{i+1} - T_i)$ ;
3. Для изохорного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_v (T_{i+1} - T_i)$ ;
4. Для изобарного процесса:  $q_{i-(i+1)} = c_p (T_{i+1} - T_i)$ ;
5. Для изотермического процесса:  $q_{i-(i+1)} = 2.3 P_i \cdot v_i \cdot \lg(v_{i+1}/v_i)$

Если в результате вычисления получается положительное число, то теплота подводится, а если отрицательное, то теплота отводится.

#### **Определение термического КПД цикла**

КПД цикла определяется по следующей формуле:

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1,$$

где  $q_1$  – удельное количество подведенной теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов;  $q_2$  – удельное отведенное количество теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов.

В формуле термического КПД  $q_2$  – абсолютная величина.

#### **Определение термического КПД цикла Карно для температурных пределов заданного цикла**

КПД цикла для температурных пределов определяется по следующей формуле:

$$\eta^K_t = 1 - (T_{\min}/T_{\max}),$$

где  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  – минимальная и максимальная абсолютные температуры рабочего тела в цикле, К.

Уменьшение термического КПД заданного цикла по сравнению с термическим КПД цикла Карно определяется по формуле:

$$\Delta\eta = (\eta^K_t - \eta_t)/\eta^K_t.$$

#### **Построение цикла в координатах "P – v"**

Здесь  $P$  – абсолютное давление по оси ординат, МПа;  $v$  – удельный объем по оси абсцисс, м<sup>3</sup>/кг.

Для определения промежуточных точек необходимо при общем политропном процессе принять значение удельного объема  $v_x$  в пределах значений начальной и конечной точек процесса. Из уравнения  $P_i \cdot v_i^n = P_x \cdot v_x^n$  определить давление для принятой промежуточной точки:  $P_x = P_i (v_i/v_x)^n$ .

Для изохорного и изобарного процессов промежуточные точки определять нет необходимости.

#### **Построение цикла в координатах "T – s"**

Здесь  $T$  – абсолютная температура по оси ординат, К;  $s$  – удельная энтропия по оси абсцисс, Дж/(кг·К).

Для определения промежуточных точек необходимо:

1. Принять значение абсолютной температуры  $T_x$  в пределах значений начальной и конечной точек процесса.

2. Определить значение удельного объема для принятой точки:

- для общего политропного процесса:  $v_x/v_i = (T_i/T_x)^{\frac{1}{n-1}}$ ;
- для изохорного процесса:  $v_1 = v_x = v_{i+1}$ ;
- для изобарного процесса:  $v_i/v_x = T_i/T_x$ .

3. Определить значение удельной энтропии для принятой промежуточной точки по формуле:

$$s_x = 2.3 c_v \lg \frac{T_x}{T_n} + B \cdot 2.3 \lg \frac{v_x}{v_n},$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К).

#### **Дано:**

1. Состав газовой смеси, % по объему согласно варианту.

2. Начальные параметры газовой смеси (первая точка цикла): давление  $P_1$ , МПа; температура  $t_1$ , °С.

3. Показатели процессов заданного цикла:

процесс 1-2 –  $n_{1-2} = \dots$  ;

процесс 2-3 –  $n_{2-3} = \dots$  ;

процесс 3-4 –  $n_{3-4} = \dots$  ;

процесс 4-1 –  $n_{4-1} = \dots$  .

4. Степень сжатия  $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$  .

5. Степень повышения давления  $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$  .

6. Степень предварительного расширения  $\rho = \frac{V_3}{V_2}$  .

#### 5.4. Вопросы к экзамену

1. Термодинамические системы, параметры и равновесие
2. Исходные положения термодинамики.
3. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты.
4. Равновесные и неравновесные процессы.
5. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота.
6. Первое начало термодинамики.
7. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
8. Энтальпия и энтропия.
9. Второе начало термодинамики.
10. Третье начало термодинамики.
11. Обратимые и необратимые процессы.
12. Возрастание энтропии в необратимых процессах.
13. Тепловые двигатели и холодильные машины.
14. Цикл и теорема Карно.
15. Условия равновесия термодинамической системы.
16. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
17. Классификация фазовых переходов.
18. Фазовое равновесие, фазовая  $P$ – $T$  диаграмма.
19. Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа.
20. Удельная и молярная теплоемкость вещества.
21. Молярная теплоемкость при постоянном давлении.
22. Уравнение Майера.
23. Молярная теплоемкость при постоянном объеме.
24. Термодинамическое равновесие. Внешние и внутренние параметры
25. Термодинамическое равновесие с молекулярной точки зрения.
26. Основное положение классической статистики.
27. Микроканоническое распределение.
28. Термодинамические функции и термодинамические равенства.
29. Применение классической статистики к идеальному одноатомному газу.
30. Распределение Максвелла – Больцмана для систем с аддитивной энергией. Давление как внешний параметр
31. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
32. Применение классической статистики к вопросу о теплоемкости газов.
33. Теплоемкость твердых тел.
34. Применение классической статистики к излучению.
35. Силы взаимодействия молекул. Уравнение состояния неидеального газа.



36. Флуктуации объема, занятого газом или жидкостью.
37. Предел чувствительности газового термометра.
38. Флуктуации плотности и рассеяние света в жидкостях и реальных газах.
39. Вычисление флуктуации величин, рассматриваемых как функции положения в пространстве. Применение к теории рассеяния света.
40. Основные понятия и законы теории теплообмена.
41. Классификация процессов теплообмена.
42. Основные термины теории теплообмена.
43. Основные законы теплообмена.
44. Теплопроводность. Способность тел проводить тепло.
45. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
46. Условия однозначности в задачах теплопроводности.
47. Массообменные процессы. Диффузионный пограничный слой.
48. Дать понятие основным термодинамическим процессам. Графическое изображение в  $PV$  и  $TS$  координатах.
49. Какая машина называется компрессором? Классификация компрессоров. Описание одноступенчатого компрессора.
50. Изобразите теоретическую индикаторную диаграмму поршневого компрессора для случая изотермического и адиабатного сжатия. Покажите на ней площади, которыми изображаются работы наполнения, сжатия и выталкивания. Для чего применяется охлаждение компрессора?
51. Определение характера распределения температурного поля в горных породах при различных термодинамических процессах горного производства.
52. Каковы основные понятия и параметры состояния водяного пара.
53. Какой пар называется сухим насыщенным? Изобразите на диаграммах  $P-V$ ,  $T-S$  и  $h-S$  обратимый адиабатный процесс расширения перегретого пара до состояния сухого насыщенного пара. Дайте необходимые пояснения.
54. Влажный воздух. Основные значения, характеризующие состояние влажного воздуха.
55. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона при охлаждении. Какой физический смысл имеет коэффициент теплоотдачи?
56. Основные понятия и механизм радиационного теплообмена. Закон Стефана-Больцмана.
57. Теплопередача. Коэффициент теплопроводности. Определение теплового потока и термического сопротивления.
58. Какой физический смысл имеет коэффициент теплопроводности, и в каких единицах он измеряется? Как подсчитать количество теплоты, передаваемое теплопроводностью через однородную цилиндрическую стенку.
59. Электрическая аналогия для теплопроводности. Одномерная теплопроводность через многослойную стенку и ее электрический аналог.
60. Сложный теплообмен.
61. Теплопроводность в цилиндрических координатах с внутренним тепловыделением

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства,**  
**специализация №1 «Физические процессы горного производства».**

(код, направление, профиль)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА**

Шифр дисциплины по РУП		Б1.Б.19	
Дисциплина		Теплотехника	
Курс	4	семестр	7
Кафедра	горного дела, наук о Земле и природообустройства		
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность		Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент	
кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства			
Общ. трудоемкость <sub>час/ЗЕТ</sub>		144/4	Кол-во семестров
		1	Форма контроля
			Экзамен
ЛК <sub>общ./тек. сем.</sub>	44/44	ПР/СМ <sub>общ./тек. сем.</sub>	8/8
ЛБ <sub>общ./тек. сем.</sub>	8/8	СРС <sub>общ./тек. сем.</sub>	48/48

**Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

- готовностью с естественнонаучных позиций оценивать строение, химический и минеральный состав земной коры, морфологические особенности и генетические типы месторождений твердых полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр (ОПК-4).

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<b>Вводный блок</b>				
Не предусмотрен				
<b>Основной блок</b>				
ОПК-4	Устный опрос	4	12	В течение семестра
ОПК-4	Практическая работа (решение задач)	4	16	В течение семестра
ОПК-4	Выполнение и защита лабораторной работы	4	20	В течение семестра
ОПК-4	Экспресс-опрос по освоенным дома самостоятельно терминам и понятиям	3	12	В течение семестра
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ОПК-4	Экзамен		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ОПК-4	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.